

## Repercusiones de la Teoría del Caos sobre los planteamientos de la Ciencia y la Tecnología: ¿Interdisciplinariedad o especialización?

José A. Martín-Pereda  
Ana González Marcos

---

Arbor CXLV, 571 (Julio 1993) 107-120 pp.

*De una manera general, se plantea la posible necesidad de adoptar un enfoque diferente al tomado hasta hoy, de una progresiva especialización en la Ciencia y la Tecnología. De acuerdo con algunos de los planteamientos existentes para el estudio de ambas, y más en concreto de los derivados de la Teoría del Caos o de la Complejidad, se postula la necesidad de adoptar unos enfoques más interdisciplinarios que los existentes hasta hoy. Un más rápido avance de todas las ramas del conocimiento se cree puede ser resultado de este nuevo enfoque.*

---

### I. Introducción

Una de las tendencias más recurrentes en las últimas décadas ha sido la de la especialización en cualquiera de los campos de la actividad humana. De una manera casi forza-

da se ha dado especial énfasis a las formaciones monotemáticas dejando a un lado todas aquellas que, en otras épocas, se hubieran considerado necesarias para alcanzar una educación integral y que habrían dado una panorámica del saber acumulado hasta entonces. Los enfoques generalistas han perdido interés y, en la mayor parte de los entornos culturales que hoy predominan, se refuerza el sentimiento de fomentar dedicaciones completas hacia un único tema. Es evidente que, con ello, se consigue una profundidad mucho mayor que la que se obtendría adoptando cualquier otro tipo de planteamiento y, también, que el resultado final, sobre todo si se trata de una actividad productiva, es una previsible mayor competitividad en los mercados.

Pero este planteamiento debe iniciar un lento proceso de revisión. Esa es la postura que, en principio, algunos empiezan a tener y que, como se verá en el presente trabajo, tiene unas razones que no deben ser menospreciadas. La interdisciplinariedad empieza a considerarse como una posible fuente de fertilización cruzada de las distintas áreas y, derivado de ello, resultados que se han obtenido en algunos campos podrían ser aplicados casi inmediatamente en otros, con un gasto mucho menor de energía y tiempo. De igual manera a como los sucesos en cualquier punto del Planeta hoy no son indiferentes a lo que pasa en el lugar más alejado del mismo, las realizaciones concretas en una cierta rama del saber adquieren una dimensión diferente al ser aplicadas a otra. Si las Ciencias y las Técnicas estuvieron en un principio unidas, y una misma persona podía entrar en varias de ellas sin que esto le confiriera un tinte de superficialidad, el final del siglo XX parece debe volver a una situación semejante. Las especializaciones deberán seguir estando presentes en una gran parte de los profesionales de la Ciencia o la Tecnología, de igual manera a como lo estaban en los artesanos del comienzo de la Edad Moderna. Pero también, como entonces, deberá existir una pequeña parte de intelectuales en los que la vocación globalizadora deberá predominar sobre la específica, en los que la tendencia hacia la síntesis habrá de dominar a la encaminada hacia el análisis.

Una de las disciplinas en las que esto es más patente es la que se refiere al comportamiento de sistemas complejos.

Aunque en muchos casos concretos, como puede ser el de los fluidos o el de las condiciones climáticas, han sido estudiados desde el mismo comienzo de la Física, sus propiedades se han mantenido casi por completo ocultas, salvo las que constituían la capa más tenue de su superficie. Otros sistemas, como pueden ser los de colectivos humanos o de especies animales, o los que configuran al propio hombre, como sus sistemas nervioso o circulatorio, o los que rigen las economías de los estados o de las grandes empresas, se han considerado en general demasiado complicados como para poder dar de ellos poco más que una interpretación fenomenológica. Introducir en ellos ecuaciones que determinen su dinámica real ha sido siempre una tarea que ha atraído muchos esfuerzos pero los resultados finales han sido bastante escasos. Se ha podido, en algunas ocasiones, interpretar lo que había sucedido en el pasado, pero las previsiones para el futuro han resultado fallidas casi siempre. Los avatares que vemos hoy en Economía y Sociología son un claro ejemplo de ello. Y los intentos de clarificar la evolución de cualquier trastorno psíquico, otro.

Aunque el camino que queda por recorrer, antes de que los anteriores problemas sean resueltos, es todavía muy largo, parece que un atisbo de luz puede entreverse en la lejanía. Y la solución, si viene, se deberá a ese cruce de ideas y de resultados entre campos muy diferentes y que, hasta hace muy pocos años, se consideraban totalmente disjuntos. Una de estas soluciones es la que parece puede encontrarse en lo que se conoce como teoría del Caos o de la Complejidad.

En el presente trabajo, después de una breve síntesis de algunos aspectos básicos de teoría del Caos, se pasará revista a los conceptos más significativos que aparecen de manera recurrente en los terrenos más dispares de la Ciencia y la Tecnología. Según veremos, en muchos de ellos se presentan, bajo ciertas condiciones, comportamientos similares. Y esto nos induce a pensar que si se pudiera llegar a conocer la verdadera raíz de uno de estos comportamientos, quizás el del más simple, con esa base se podría pasar al estudio de los demás. La Electrónica y las tecnologías de ella derivadas, como la Informática o la Fotónica, ofrecen, casi con toda seguridad, las posibilidades más claras de

conseguirlo. El dominio que se tiene hoy de ellas es muy superior al que se tiene en los otros campos. Simulaciones de laboratorio y de ordenador que se puedan hacer quizás podrán permitir en el futuro conocer la realidad de otros sistemas más complejos, como pueden ser los biológicos, los sociales o los económicos.

## **II. A modo de antecedentes**

Todas las Mitologías han partido del Caos para sus descripciones de la creación del Universo <sup>1</sup>. Su nombre parte de Hesíodo, que le hace padre del Erebo y de la Noche. Ovidio dice que un cierto ente, sin entrar en si era un dios o la propia naturaleza, desenredó al Caos y separó sus elementos para colocar a cada cuerpo en el lugar que le correspondía. Mucho antes, en el poema babilónico de la Creación, el «Enuma elis» <sup>2</sup>, la idea del Caos estaba también latente, aunque sin nombre. Lo describe semejante a una masa líquida uniforme y más o menos amorfa, con análoga concepción a la de otras cosmogonías caldeas previas y a la de otros sistemas metafísicos más tardíos, como los de Tales de Mileto. De esa masa caótica surgieron las divinidades que, posteriormente, crearían al resto de los seres vivos. En contraposición a esta idea, en la Biblia es un ser supremo el que crea a la sustancia primordial, al Caos primario, y de ella irá después extrayendo a todas las cosas. Pero, de una manera u otra, el Caos está siempre presente. «En el principio fue el Caos,.../El Caos primigenio./ Que produjo la primera perturbación», dice Ernesto Gardenal <sup>3</sup>.

Y si, de una manera u otra, Teogonías y Cosmogonías siempre habían contado con él para iniciar sus relatos, la Ciencia, por el contrario, le había rehuido. Los presocráticos habían hecho surgir del Caos líquido a los seres vivos. Pero los fluidos habían constituido siempre para los físicos el tema más esquivo para ser estudiado hasta sus últimos límites. Era como si, de una manera consciente, la naturaleza ocultase la raíz de la que había partido. La Mecánica de Newton había trazado el camino de una visión determinista del Universo. Con ella, aparentemente, era posible seguir avanzando de manera segura. Laplace señalaba la posibili-

dad de que una inteligencia lo suficientemente poderosa, tanto como para ser capaz de analizar todas las fuerzas y la situación de los entes existentes, podría llegar a hacer desaparecer la incertidumbre del futuro. Conocidos todos los datos de hoy y las leyes con las que éstos pueden evolucionar, el mañana podría ser tan conocido como el pasado. La entrada en escena de los ordenadores debería haber iniciado el principio de una situación así.

Pero lo podría haber hecho si las suposiciones de partida hubieran sido correctas. Es un hecho que no existe una inteligencia tan grande como la que demandaba Laplace. Pero quizás, con el tiempo, se pudiera llegar a conseguirla. Ese no era el problema. El problema era que, por una parte, la suposición de que las ecuaciones de Newton son deterministas es, en palabras de L. E. Reichl <sup>4</sup>, una falacia. Y por otra, que gracias a los ordenadores, incluso a los de tamaño tan pequeño como las simples calculadoras de bolsillo, se puede llegar a soluciones caóticas al tratar de resolver ecuaciones en apariencia inocentes y sin ninguna complicación.

Si en el principio, según los antiguos escritos, del Caos se pasó al orden, ahora todo indicaba que del orden se pasaba al Caos. No era sólo en los fluidos donde se detectaban situaciones de Caos sino que, si se estudiaba casi cualquier campo de la Ciencia, en él también surgía.

Y no sólo en la Ciencia. La Tecnología no podía quedar ajena a lo que estaba sucediendo en ésta. Desde el comienzo de los setenta, por decir una fecha más o menos concreta, en técnicas tan dispares como la del láser o la cardiología se empezaron a estudiar fenómenos que, bajo unas determinadas condiciones, seguían caminos que llevaban al Caos. Y estos caminos eran equivalentes a los que antes había ido descubriendo la Física o la Química. En algunos casos incluso, los planteamientos que antes hemos hecho como caminos válidos para el estudio de los fenómenos que aparecen en áreas complejas, y que podían basarse en sus analogías con otros en principio más sencillos, ya se habían introducido. Este es el caso de la modelización de los ritmos cardíacos mediante circuitos electrónicos, que ya fue establecida por Van der Pol en 1928.

### **III. Algunas ideas básicas para el estudio del caos**

Intentar plantear aquí las bases matemáticas o los principios físicos sobre los que se estructura la teoría del Caos sería bastante atrevido. Por una parte es ya un tema que comienza a ser tratado, de manera regular, en libros de texto y en artículos de divulgación. Por otra, no es el objetivo de estas páginas el tratar el Caos en sí, sino sus consecuencias sobre los planteamientos existentes en Ciencia y Tecnología. En un artículo posterior, se incidirá de manera más directa sobre él.

Pero entre los hechos fundamentales que sí merece la pena destacar se encuentra el de cómo se llega a una situación caótica y cuáles son los indicios que permiten determinar el que un sistema se encuentra en ella. Ambos, si se consigue saber su respuesta, pueden permitir el estudio de configuraciones complicadas cuyo comportamiento ha estado fuera de los límites actuales de su interpretación correcta.

El camino global hacia el Caos es conocido desde hace varios años. Uno de los jalones más decisivos lo planteó M. J. Feigenbaum, en 1980, con un artículo ya clásico <sup>5</sup> en el que estudiaba el comportamiento de Sistemas Nolineales. Si se analizaba la transición de éstos desde una situación estable a otra turbulenta o errática, se podían encontrar unas relaciones en el paso de unos estados a otros que se mantenían fijas, independientemente del tipo de sistema considerado. En general, para pasar de una situación a otra es necesario cambiar el valor de un determinado parámetro. Puede éste ser la temperatura a la que se encuentra el sistema, la concentración de alguno de sus componentes o el voltaje que se le aplica. Si este parámetro se hace variar de una manera lenta, podrá apreciarse cómo el sistema va evolucionando con él y, en algunos casos, aunque los sistemas estudiados sean por completo diferentes, surgen situaciones que son similares.

Una de éstas es la que se conoce como «aparición de bifurcaciones». Merced a ella, para un cierto valor de dicho parámetro, una de las variables cuyo comportamiento se estudia al modificarse el antedicho parámetro, para un cierto valor del mismo, pasa a tener un número doble de posi-

bles estados. Si la variable era, por ejemplo, la población de una especie biológica, que para valores pequeños del parámetro sólo admitía una solución, al llegar a un valor determinado de éste, adquiriría una alternancia en la población, evolucionando ésta entre dos valores para instantes sucesivos de tiempo. Al pasar a otro, esta alternancia pasaría a ser entre cuatro valores, repitiéndose este proceso de duplicación de manera indefinida hasta llegar a un valor para el cual los valores que podrían obtenerse, para tiempos sucesivos, podrían ser cualesquiera. Se ha llegado así a la situación de Caos.

La característica esencial del hecho anterior es que, independiente del tipo de sistema o de fenómeno considerado, existe algo que es común a todos ellos. Si se estudia la relación entre los valores sucesivos del parámetro que estamos variando, para los que surgen los fenómenos de la bifurcación, se verá que siempre guardan una misma proporción. Su valor es una constante que adquiere así un cierto carácter de universalidad, hecho éste que estaba restringido hasta ahora a contados parámetros de otros campos muy concretos, como los números  $\pi$  o  $e$ . Esta constante suele denominarse, conjuntamente con otras relacionadas con el mismo fenómeno, como «número de Feigenbaum» en honor a su descubridor. Como curiosidad puede recordarse que éste la obtuvo, simplemente, con un pequeño ordenador personal.

Lo anterior nos plantea ya un hecho que, de manera inmediata, resulta profundamente significativo. Este no es otro que el de la gran influencia que pueden tener las condiciones de partida para el seguimiento con el tiempo de un determinado fenómeno. En el caso anterior estas condiciones de partida pueden encontrarse en dos puntos característicos. Uno es el que determina el valor de alguno de los parámetros que pueden estar presentes en la ecuación que caracteriza la evolución dinámica del sistema. O dicho de otra manera, el valor de alguno de los coeficientes que pueden estar presentes en dicha ecuación. El otro está fuera de ella y es, simplemente, el valor inicial que tiene la variable que se va a estudiar. En términos matemáticos sería la condición de contorno que se impone a la ecuación que se va a estudiar.

La influencia de la primera condición ya ha sido esbozada brevemente en los párrafos anteriores: conduce a situaciones estables, periódicas o caóticas. La de la segunda merece que nos detengamos ahora en ella.

Y quizás la manera más procedente de hacerlo es, igual que antes mencionamos a Feigenbaum, introducir ahora a otro de los nombres que constituye una nueva pieza clave en la Teoría del Caos: el del meteorólogo E. Lorenz. Su presencia en este terreno abona el planteamiento que se hizo en párrafos anteriores de la necesidad de apertura interdisciplinar para los nuevos planteamientos de la Ciencia y la Tecnología.

A principios de la década de los sesenta Lorenz se propuso plantear un modelo que fuera capaz de determinar las evoluciones de la atmósfera en plazo más o menos dilatado de tiempo. Para ello propuso un sistema de tres ecuaciones diferenciales con tres variables y tres parámetros físicos que determinaban la situación del sistema considerado. El resultado de su estudio queda sintetizado en el Resumen del artículo que publicó en 1962 <sup>6</sup> y cuya traducción aproximada es la siguiente: *«Un flujo hidrodinámico disipativo forzado puede representarse por un sistema finito de ecuaciones diferenciales no lineales ordinarias. Sus soluciones pueden identificarse con trayectorias en el espacio de las fases. En aquellos sistemas que poseen soluciones acotadas, se encuentra que las soluciones no periódicas son inestables con respecto a pequeñas modificaciones de tal manera que estados iniciales muy similares pueden conducir a estados finales notoriamente distintos. Los sistemas con soluciones acotadas se muestra que poseen soluciones numéricas acotadas. / Un sistema muy sencillo, que representa un fenómeno de convección celular, es resuelto de manera numérica. Se encuentra que todas las soluciones son inestables y casi todas ellas no periódicas. / La posibilidad de una predicción del tiempo a largo plazo es examinada a la luz de estos resultados»*. Inútil es decir que dicha predicción es prácticamente imposible.

De las muchas consecuencias que pueden extraerse de lo anterior, sólo queremos hacer especial hincapié aquí en una de ellas: la importancia de los valores iniciales que se den a las variables del sistema. Como encontró Lorenz, y



puede verse con una infinidad de sistemas similares y no similares de ecuaciones, la incidencia que puede tener un decimal situado en un orden tan elevado que, usualmente, es despreciado en cualquier problema físico, puede ser desmesurada sobre el valor obtenido en una determinada variable pasado un tiempo, o un número de iteraciones, suficientemente grande. De una manera muy gráfica este fenómeno se ha denominado como «*efecto mariposa*». Quizás un tanto exageradamente indica que el aletear de una mariposa en cualquier región del Planeta, por ejemplo la selva del Amazonas, puede conducir a una tormenta en otra muy alejada, como puede ser la India.

Las ecuaciones de Lorenz conducen también a otras conclusiones, como pueden ser la de los atractores extraños, pero, por el momento, no parece oportuno detenernos más aquí.

Sólo queda resaltar un hecho. Es el que se refiere al momento de publicación del artículo anterior y el de cuándo comenzó a tener una cierta influencia. El artículo fue publicado en una revista específica de Meteorología, y que ni matemáticos ni físicos accedían de manera regular a ella. En consecuencia hubieron de pasar casi veinte años para que llegara a tener la incidencia sobre otros campos que hoy tiene.

#### **IV. Características globales del caos y algunas consecuencias**

Todo lo anterior podría parecer que se derivaría de la presencia de leyes dinámicas suficientemente complejas o, quizás, del desconocimiento completo de las variables que intervienen en el problema. Pero la realidad es muy diferente. Algo que caracteriza a la mayor parte de los comportamientos caóticos que se han estudiado con mayor o menor detalle hasta hoy, están caracterizados por los siguientes hechos:

- a) Están gobernados por leyes dinámicas muy sencillas,
- b) muestran comportamientos totalmente irregulares, y
- c) su evolución temporal es imposible de predecir.

Al mismo tiempo que se tiene lo anterior habría que sacar a la luz algunos otros hechos que, de una manera más o menos consciente, siempre se han tenido como ciertos.

El primero, que siempre ha aparecido como muy claro, es el de la «oscilación». Cualquier tipo de oscilación, fuera de la clase que fuera, era asimilada inmediatamente a otro concepto que considerábamos equivalente. Este concepto era el de «periodicidad». Si un circuito era catalogado como oscilador, con él llevaba consigo la noción de que la señal que emitía era algo que se repetía periódicamente de manera indefinida. Y esto no admitía ninguna duda. En otro campo, las órbitas de los planetas alrededor del Sol eran consideradas periódicas y regulares, y se podía pensar que dentro de mil millones de años seguirían siéndolo igual.

El segundo hecho con el que también nos hemos solido mover de manera cómoda a lo largo de los años es el del «ruido». Todo ruido era considerado como un proceso por completo «no-determinístico». Esto equivalía a decir que su origen y sus causas, venían dadas por una serie de fenómenos que se alejaban por completo de todo proceso iniciado a través de unas leyes perfectamente determinadas y, en cierta manera, preestablecidas. Se sabía que ciertos ruidos tenían unos determinados orígenes pero que éstos estaban, en general, fuera del control de las leyes físicas que luego los controlaban.

Pero las certidumbres con las que nos debemos mover a partir de ahora son muy diferentes. Y entre ellas podemos afirmar que

- a) no hay ninguna razón para que las oscilaciones sean siempre periódicas,
- b) el ruido, o algo que en ciertas ocasiones se entiende como ruido, puede surgir de un proceso determinístico,
- c) existen sistemas determinísticos, de carácter newtoniano, que son «impredecibles», y
- d) estos últimos sistemas pueden llegar a producir un ruido determinístico.

Las consecuencias de todo lo anterior no se escapan a nadie, por muy alejado que se encuentre de los conceptos introducidos en los enunciados previos. Acercándonos a una terminología más convencional, podría sintetizarse lo anterior diciendo que hay fundadas razones para creer que ciertos tipos de ruido, o ciertos tipos de procesos aparentemente aleatorios, pueden proceder de causas por completo determinísticas. Y que éstas pueden proceder de situaciones que, en un principio, al estar por completo controladas, en la lógica que nos ha guiado hasta hoy, jamás deberían conducir a situaciones alejadas de comportamientos totalmente establecidos y claros.

De una manera análoga, y por pura inferencia, si de situaciones iniciales se puede llegar a procesos de tipo caótico, la inversa, bajo determinadas condiciones, debe poder ser cierta también. Esto es, estados de desequilibrio completo, en los que un análisis temporal señalaría la inexistencia de toda correlación entre los fenómenos que se registran, pueden haber tenido su raíz en unas sencillas ecuaciones de partida.

Los campos en los que lo anterior puede encontrar aplicación directa son casi todos. Difícilmente podrá plantearse el estudio de un segmento del conocimiento humano en el que no aparezcan situaciones complejas y difícilmente tratables por los métodos usados hasta hoy. La Ciencia y la Técnica han intentado siempre, a lo largo de su historia, simplificar los problemas hasta sus expresiones más elementales. Esa era la única forma de poder resolverlos e incluso, con mayor razón, de poder extraer de ellos alguna aplicación que resultase práctica. Los circuitos electrónicos se ha buscado que den siempre las mismas funciones de salida, que éstas sean perfectamente controlables y que todas sus variables permanezcan delimitadas. El péndulo, uno de los elementos más clásicos de la Física, ha sido obligado siempre a moverse en pequeñas oscilaciones manteniendo su punto de suspensión fijo. Cualquier desviación sobre ese modelo se ha considerado como una perturbación no deseada y, en consecuencia, se ha evitado profundizar en ella.

Siguiendo ese patrón, la Física ha avanzado por el camino de los modelos simplificados y, gracias a ello, se ha

llegado a su espléndida situación actual. La Tecnología, apoyándose en la Física y con análogas simplificaciones que ella, ha podido progresar durante el presente siglo hasta llegar al auge que todos notamos a nuestro alrededor. De una manera simple podría decirse que todo el desarrollo se ha basado, indirectamente, en el teorema de Poincaré-Bendixson<sup>7-8</sup>, que establece las condiciones de mínima complejidad. Según el mismo, las soluciones de un sistema de ecuaciones diferenciales autónomas de primer orden, o bien convergen hacia un punto o lo hacen hacia una curva cerrada. Si esto se traslada a una situación dinámica, el tipo de movimiento que se tendría sería el reposo, en una posición estable, o la repetición periódica de alguna trayectoria. Todo ello excluye, en consecuencia, a cualquier tipo de comportamiento irregular permanente. Para llegar a un comportamiento caótico habrá de tenerse, al menos, un sistema de dos ecuaciones no autónomas de primer orden o uno de tres ecuaciones autónomas de primer orden. Si se analizan los problemas resueltos en Física hasta hoy, casi siempre nos encontraremos fuera de estas dos últimas situaciones.

Pero la Naturaleza no se comporta así. Los parámetros que intervienen en cualquier fenómeno no están siempre controlados. Las variables en juego, pueden no ser todas conocidas. Las relaciones entre los distintos factores que intervienen son, en muchas ocasiones, del tipo no lineal a que antes se aludía. Y con ello, las modelizaciones planteadas por la Física convencional sólo suelen resolver instantes muy cortos de tiempo o extrapolaciones hacia una situación sobresimplificada.

Y si lo anterior se produce en terrenos donde es posible cuantificar, esto es, definir magnitudes y poder medir con ellas, en aquellas otras áreas en las que esto no es posible, la situación puede llegar a ser absolutamente inmanejable. Dentro de estas áreas se encuentran todas aquellas que se relacionan con problemas sociológicos, humanos e, incluso, biológicos. En todas ellas no es posible definir una unidad absoluta de medida a partir de la cual se pudieran determinar unas ciertas ecuaciones dinámicas. La subjetividad del observador adquiere aquí una importancia que en las anteriores ramas no tenía. A pesar de ello es posible establecer unas pautas de evolución que pueden dar lugar a un análisis

próximo al que aquí nos interesa, esto es, al del estudio de su complejidad o de su patrón de Caos. Las referencias bibliográficas son numerosas y dan ejemplo de cómo se están abordando este tipo de problemas.

## VI. Conclusiones y puertas abiertas

Varias son las consideraciones que parece oportuno hacer a la luz de lo visto hasta aquí. Unas se refieren al mero avanzar de las Ciencias y las Técnicas y, otras, a las filosofías de sus planteamientos. A ambos grupos es preciso dedicarles análoga atención.

Por lo que se refiere al primer grupo, la consecuencia más inmediata que se puede extraer es que, casi con toda seguridad, nos encontramos en este momento ante uno de los paradigmas que propugna T. S. Khun. En situaciones normales, los experimentalistas se limitan a realizar pequeñas modificaciones de experimentos realizados antes una infinidad de veces. Obtienen nuevas cifras decimales en el valor de un parámetro o logran resultados más satisfactorios que los conseguidos hasta la fecha. Los teóricos, como dice J. Gleick <sup>9</sup>, añaden un ladrillo aquí o retocan una cornisa allí, sobre el muro de la teoría. Eso es lo usual y, de hecho, no puede ser de otra manera para poder seguir avanzando con paso seguro y firme. Pero, de vez en cuando, es preciso iniciar otro muro o diseñar algún tipo de experimento que no tenga nada que ver con ninguno de los que se han hecho hasta el momento. Es el salto de un nuevo escalón que puede dar lugar a un piso adicional en el edificio de la Ciencia o la Tecnología. Es muy posible que la introducción de la teoría del Caos, o del estudio de los fenómenos complejos, constituya uno de los últimos paradigmas que nos quede por vivir en lo que resta de milenio.

En el segundo grupo de consideraciones es obligado incluir algo que se deriva de las primeras y de su propia esencia. Aunque aquí sólo hemos visto una visión muy parcial del tema, sí creemos que, a pesar de ello, ha debido quedar clara la necesidad de introducir, una vez más, el concepto de interdisciplinariedad en las Ciencias y las Técnicas. Y más aún, que esta interdisciplinariedad debe exten-

derse al resto de los campos de la actividad humana, tanto del pensamiento puro como de la tecnología más dura. Es seguro que los próximos años verán un florecimiento de actividades centradas en terrenos que antes no pertenecían a nadie, porque precisaban la aportación de todos y, quizás por su dificultad, eran soslayados también por todos. Porque todos estaban demasiado ocupados cuidando únicamente su pequeña parcela. Seguían tan sólo los consejos de Cándido cuando decía «*Cela est bien dit,..., mais il faut cultiver notre jardin*». Pero ahora parece evidente que es preciso pasar a cultivar otros jardines.

## Bibliografía

- <sup>1</sup> NOËL, J. F. M., «Diccionario de Mitología Universal». Tomos I-II. Edicomunicacion, S. A., Barcelona, 1991.
- <sup>2</sup> «Poema babilónico de la Creación». E.N. Madrid, 1981.
- <sup>3</sup> CARDENAL, E., «Cántico Cósmico». Trotta, Madrid, 1992.
- <sup>3</sup> REICHL, L. E., «The Transition to Chaos in Conservative Classical Systems: Quantum Manifestations». Springer-Verlag, Berlin 1992.
- <sup>3</sup> FEIGENBAUM, M. J., «Universal Behavior in Nonlinear Systems». *Los Alamos Science*, 1, 4-27 1980.
- <sup>6</sup> LORENZ, E. N., «Deterministic non-periodic flow». *J. Atmos. Sci.* 20, 130-141, 1963.
- <sup>7</sup> POINCARÉ, H., «Memoires sur les courbes définies par les équations différentielles». I-IV, *Oeuvre I*, Gauthier-Villas, Paris, 1880-90.
- <sup>8</sup> BENDIXSON, I., «Sur les corbes définies par les équations différentielles». *Acta Math.* 24, 1-88, 1901.
- <sup>9</sup> GLEICK, J., «Chaos». Cardinal, London, 1987.